

0718842-1

На правах рукописи

СТАХОВА НАТАЛИЯ ЕВГЕНЬЕВНА

РАЗРАБОТКА  
МЕТОДОВ И СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ  
МИКРОВОЛНОВЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ

Специальность 05.13.05- Элементы и устройства  
вычислительной техники  
и систем управления

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Казань 2000

Работа выполнена в Научно-исследовательском центре прикладной электродинамики (НИЦ ПРЭ) Казанского государственного технического университета им.А.Н.Туполева

Научный руководитель

доктор технических наук,  
профессор, Ю.Е.Седельников

Официальные оппоненты

доктор технических наук,  
профессор, О.И.Даутов

кандидат технических наук,  
доцент, А.З.Камалетдинов

Ведущая организация

**НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА  
КФУ**



0000947737

Конструкторское бюро  
экологической и медицинской  
аппаратуры, г.Каменск-  
Уральский.

Защита состоится " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2000 г. в \_\_\_\_\_ часов  
на заседании диссертационного Совета К.063.43.05  
при Казанском государственном техническом университете  
им.А.Н.Туполева по адресу : 420111, г.Казань, ул.К.Маркса,10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2000 г.

Ученый секретарь  
диссертационного Совета  
кандидат технических наук

В.А.Козлов

*Актуальность темы.*

В середине XX века начались исследования в области технологий, использующих электромагнитную энергию СВЧ и КВЧ диапазонов - так называемых микроволновых технологий. Первоначально нашли практическое применение высокоинтенсивные электромагнитные поля СВЧ для нагрева различных материалов. Исследования установили высокую эффективность использования СВЧ нагрева в широком круге областей народного хозяйства - промышленности, сельском хозяйстве, медицине . . . В промышленности - это избирательный нагрев и сушка различных материалов, в медицине - гипертермия, лечение ряда заболеваний, в сельском хозяйстве - уничтожение бактерий, грибов в тепличном грунте, санация животноводческих помещений, предпосевная обработка семян для повышения их всхожести, переработка продуктов пчеловодства и т.д. Технологии с применением СВЧ нагрева экологически чистые и мало энергоёмкие по сравнению с традиционными.

В 70-х годах стали появляться работы по исследованиям специфического воздействия низкоинтенсивных (информационных) электромагнитных полей КВЧ на биологические объекты. Было установлено наличие резонансного взаимодействия низкоинтенсивных электромагнитных полей миллиметрового диапазона с биологическими объектами, определён энергетический диапазон, при котором начинают проявляться эти взаимодействия. Было высказано предположение, что низкоинтенсивные электромагнитные поля КВЧ воздействуют на проницаемость мембран, ускоряя метаболизм. Варьируя мощностью и временем воздействия электромагнитного поля КВЧ на биологические объекты, появилась возможность управления жизнедеятельностью биологических объектов на клеточном уровне. Это позволило исследовать влияние электромагнитных полей на организм, проводить профилактику и лечение заболеваний. Весьма перспективным оказалось использование микроволновых технологий в сельском хозяйстве при предпосевной обработке семян для улучшения их посевных свойств и устойчивости к заболеваниям и, как следствие этого, увеличения урожайности. Это особенно актуально в зонах рискованного земледелия, к которым относится республика Татарстан.

Однако, не смотря на достаточно широкий круг применения микроволновых технологий, установки для реализации поставленных задач не нашли должного распространения, хотя и используются в промышленности и, частично, в медицине. В сельском хозяйстве разработки микроволновых установок находятся либо на стадии опытного производства, либо они существуют в единич-

ных экземплярах. В основном - это установки на базе бытовых СВЧ печей или авиационных радиотехнических комплексов. Более широкому практическому использованию микроволновых технологий в сельском хозяйстве препятствует ряд обстоятельств. К числу наиболее значимых можно отнести недостаточное развитие методологии создания микроволновых установок для предпосевной обработки семян. Более того, при реализации микроволновых технологий разработчики не уделяют достаточного внимания экономическим аспектам. В случае предпосевной обработки семян это может привести, несмотря на повышение урожайности, к экономической неэффективности используемых технологий и установок для их реализации. Кроме того, не достаточно разработаны методики определения режимов обработки, поскольку механизм биологического воздействия электромагнитных полей на семена не изучен, отсутствуют модели адекватные биологической системе «семена». Таким образом, дальнейшее развитие и внедрение микроволновых технологий в сельскохозяйственную практику потребует обязательного решения этих, а также ряда смежных задач.

#### *Цель работы и задачи исследования.*

Целью данной работы является разработка методов построения микроволновых установок для обработки семян сельскохозяйственных и лесных культур, обеспечивающих оптимальное соотношение энергозатрат и качества обработки. Достижение указанной цели предполагает решение следующих задач:

1. Выработку критериев эффективности режимов обработки семян электромагнитными полями.
2. Поиск закономерностей воздействия электромагнитных полей сверхвысокой и крайне высокой частот различной интенсивности на семена и определение режимов обработки семян, обеспечивающих минимальные затраты энергии.
3. Выработку требований к устройствам управления режимами обработки и формирования электромагнитного поля в рабочих камерах микроволновых установок и определение эффективных способов, обеспечивающих требуемый режим обработки; оценку требований к параметрам, определяющим качество обработки, а также построение элементов устройств формирования требуемых электромагнитных полей.
4. Внедрение полученных результатов в разработку опытных установок для обработки семян электромагнитными полями и их испытания.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА  
им. Н. И. Лобачевского  
Казанского гос. ун-та



### *Основные методы исследования.*

При решении поставленных задач использовались методы теории вероятностей, теории случайных процессов, а также экспериментальные, включая методы статической обработки их результатов.

*Научная новизна работы* заключается в следующем:

1. Определены эффективные режимы обработки семян высокоинтенсивным электромагнитным полем СВЧ, включая параметры низкочастотной модуляции, и эффективные режимы обработки семян низкоинтенсивным электромагнитным полем КВЧ с учётом диапазона частот и длительности обработки.
2. Выработаны критерии и методики оценки качества обработки с учётом неравномерности распределений электромагнитных полей в рабочих камерах микроволновых установок.
3. Разработана методика оценки требуемых параметров устройств управления микроволновых установок для улучшения их технико-экономических показателей.
4. Получено подтверждение разработанных критериев, методик и режимов обработки семян при испытаниях опытных образцов микроволновых установок, разработанных в НИЦ ПРЭ КГТУ им. А.Н. Туполева.

*Практическая ценность реализации и внедрение результатов исследования.*

Практическая ценность состоит в:

- определении режимов предпосевной обработки семян ЭМП СВЧ и КВЧ улучшающих их посевные свойства;
- возможности определения эффективных режимов обработки семян для построения микроволновых установок с улучшенными технико-экономическими показателями;
- использовании методики расчёта качественных показателей при анализе и проектировании микроволновых установок для обработки семян.

*Реализация результатов.*

Теоретические и практические результаты работы использованы в НИЦ ПРЭ КГТУ им. А.Н. Туполева, Татарской лесной опытной станции ВНИИЛМ, в

хоздоговорных НИР с Экофондом Республики Татарстан «Разработка опытного образца установки стимуляции роста семян хвойных», в учебном процессе кафедры радиоправления КГТУ им. А.Н. Туполева. Разработанные методики и оценки использованы при разработке реальных конструкций микроволновых установок: ШЫТЫМ, MSP, РОСТОК.

*Апробация работы.*

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на Всероссийских и международных научно-технических конференциях в 1996-2000 г.г. в том числе на Всероссийской НТК МВТ-95, г. Казань; Юбилейной научной и НМК, посвященной 65-летию КГТУ, г. Казань, 1997 г.; 6-й Всероссийской НТК «Состояние и проблемы измерений», г. Москва, 1999 г.; 9-й Международной Крымской конференции «СВЧ - техника и телекоммуникационные технологии», Украина, Крым, Севастополь, 1999 г.;

*Публикации.*

По результатам работы опубликовано 10 печатных работ, в числе которых 9 тезисов докладов на научно-технических конференциях, 1 статья.

*Структура диссертационной работы.*

Работа состоит из введения, 3 глав, общих выводов, список литературных источников включает 112 наименований.

*На защиту выносятся:*

1. Режимы обработки семян электромагнитными полями СВЧ и КВЧ, обеспечивающих улучшение посевных свойств при минимизации энергозатрат.
2. Критерии качества микроволновой обработки и методы их определения для микроволновых установок.
3. Методики оценки качественных показателей установок.
4. Требования к устройствам формирования электромагнитных полей и управления режимами обработки.
5. Результаты использования разработанных критериев, методов и режимов обработки при создании опытных образцов микроволновых установок и их испытаниях.

Достоверность выводов и положений определяются

- использованием моделей, адекватных реальным объектам;
- корректным использованием математического аппарата;
- результатами экспериментальной проверки и испытаний опытных образцов микроволновых установок.

## СОДЕЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы исследования - разработка методов построения микроволновых установок для предпосевной обработки семян. Рассмотрено состояние разработок по тематике диссертационной работы, приведена ее структура.

В первой главе определена цель и сформулированы задачи исследования. Разработана схема воздействия электромагнитных полей СВЧ и КВЧ различной интенсивности на семена. На ее основе предложено строить методики создания микроволновых установок для предпосевной обработки семян, обеспечивающих оптимальное соотношение энергозатрат и качества обработки. Семена представляются в виде биологической системы, выходными характеристиками которой можно управлять воздействием электромагнитных полей СВЧ и КВЧ, рис. 1.

Процесс микроволновой обработки рассмотрен как достижение обрабатываемым объектом, имеющим входные характеристики  $W_{вх}$  некоторой совокупности свойств  $W_{вых}$  при воздействии  $V_{ЭМП}$  электромагнитного поля СВЧ или КВЧ, характеризующимся биотропными параметрами [ частотой, интенсивностью, экспозицией, поляризацией и т.д.].

$$W_{вых} = R(W_{вх}, V_{ЭМП}) , \quad (1)$$

где R- оператор преобразования. Управляющее воздействие  $V_{ЭМП}$  подбирается таким образом, чтобы обеспечить минимальное отличие выходных свойств от заданных  $W_{вых\text{зад}}$

$$\|W_{вых} - W_{вых\text{зад}}\| \rightarrow \min, V_{ЭМП} \in \Omega_{V_{ЭМП}} \quad (2)$$

при условии принадлежности  $V_{ЭМП}$  некоторому множеству допустимых значений  $\Omega_{V_{ЭМП}}$ .

Рассмотрены основные виды существующих микроволновых установок для предпосевной обработки семян. Показано, что они проектировались без учета

фактора энергозатрат на производство единицы продукции, что существенно снижает их экономическую эффективность.

В диссертации общая задача исследования поставлена следующим образом - оптимизировать вектор обработки  $V_{ЭМП}$  для достижения условия (2) при минимальных затратах энергии  $\mathcal{E}$ :

$$\mathcal{E} = \int_0^T P(t) dt \rightarrow \min_{V_{ЭМП}}, \quad (3)$$

где  $P(t)$  закон изменения мощности микроволнового излучения,  $T$  - длительность обработки. Следовательно, разрабатывая технологический процесс обработки семян и микроволновую установку, реализующую этот процесс, необходимо одновременно контролировать выполнение условий (2) и (3).

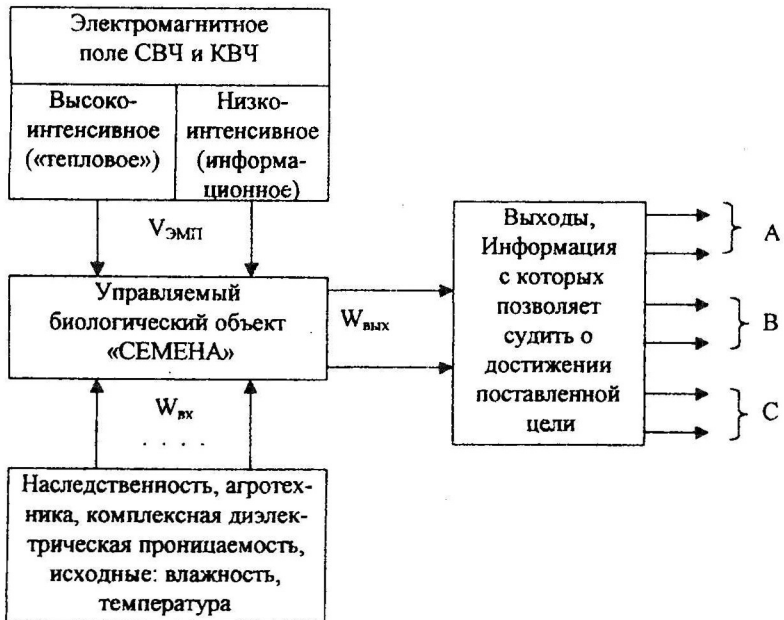


Рис. 1. Схема воздействия ЭМП на семена.

А - физические характеристики (длина проростка и т.п.); В - посевные свойства (энергия прорастания, всхожесть); С - затратные характеристики.

Чтобы оценить параметры, управляющие процессом микроволновой обработки  $V_{ЭМП}$  представим следующим образом:

$$V_{ЭМП} = V_{ЭМП}^1 + V_{ЭМП}^2 + V_{ЭМП}^3, \quad (4)$$

где  $V_{ЭМП}^1$  - определяет процесс обработки (интенсивность электромагнитного поля, поляризацию, время воздействия и т.д.);  $V_{ЭМП}^2$  - процесс создания требуемых электромагнитных полей, а  $V_{ЭМП}^3$  - описывает технические параметры конкретной микроволновой установки. В работе основное внимание уделено первой группе параметров  $V_{ЭМП}^1$ ,  $V_{ЭМП}^1 = V_{ЭМП}^{13} + V_{ЭМП}^{10}$ .  $V_{ЭМП}^{13}$  относится к элементарному объему обрабатываемых семян и определяет необходимые параметры воздействующего электромагнитного поля для требуемых преобразований свойств исходного состояния семян (под элементарным объемом понимается область, в которой можно пренебречь пространственными изменениями электромагнитного поля).  $V_{ЭМП}^{10}$  описывает пространственные и временные изменения параметров электромагнитного поля во всем объеме обрабатываемых семян для обеспечения в каждой его точке требуемых значений  $V_{ЭМП}$ . Таким образом, в соответствии с подходом, сформулированным Г.А. Морозовым, решение общей задачи можно разделить на два этапа. Первый этап - это выбор режима обработки, обеспечивающего достижение требуемого качества (2) обработки при минимальных удельных приведенных затратах электромагнитной энергии. При этом понятие «режим обработки» относится к элементарному объему обрабатываемых семян, а понятие «удельные приведенные затраты» энергии  $\mathcal{E}_{прив}$  определяет необходимый расход электромагнитной энергии для обработки единицы продукта с учетом различной стоимости производства 1 Дж энергии.

$$\mathcal{E}_{прив} = \mathcal{E} \cdot K_f \cdot K_m, \quad (5)$$

где  $K_f$ ,  $K_m$  - весовые коэффициенты, отражающие изменения стоимости в разных частотных диапазонах и для различных типов и параметров модуляции. На втором этапе решаются задачи реализации требуемого режима обработки для всего объема обрабатываемых семян с учетом реальных возможностей соблюдения режимов обработки, определенных на первом этапе. Принципиальной особенностью второго этапа является невозможность обеспечения однородно-

сти условий обработки в микроволновой установке. Поэтому общая задача на этом этапе формулируется следующим образом: обеспечить максимально возможное выполнение заданного режима обработки для всей массы семян при минимальных энергозатратах.

Во второй главе рассмотрены вопросы выбора режимов предпосевной обработки семян. Определены закономерности реакции семян на воздействие электромагнитных полей различной интенсивности и диапазонов. Эти закономерности проявляются в пределах каждого из диапазонов вне зависимости от типа культуры. Для объяснения этих закономерностей воздействие  $V_{ЭМП}$  представлено в виде двух компонент тепловой и информационной, рис. 2. И, соответственно, построены две модели –тепловая и информационная.

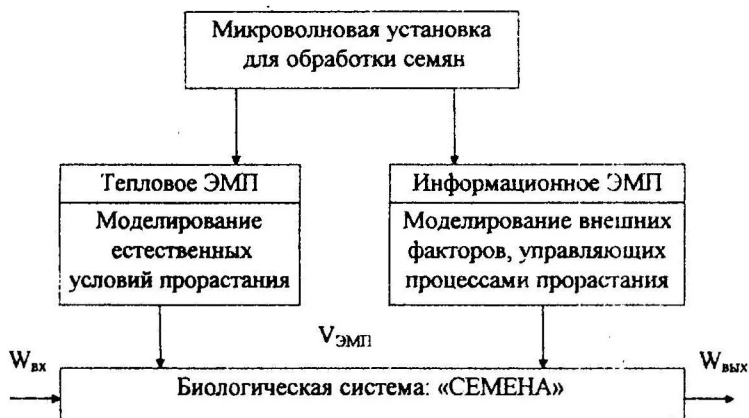


Рис. 2.Тепловая и информационная модели

Тепловая модель предполагает нагрев массы семян за счет токов проводимости и смещения. Поэтому для поля СВЧ высокой интенсивности предложено моделировать естественные условия прорастания, рис.3, используя в качестве воздействия тепло, которое является для семян важнейшим фактором, стимулирующим процессы прорастания и жизнедеятельности.

Получена формула, позволяющая определить время нагрева до заданной температуры с учетом исходного состояния семян.

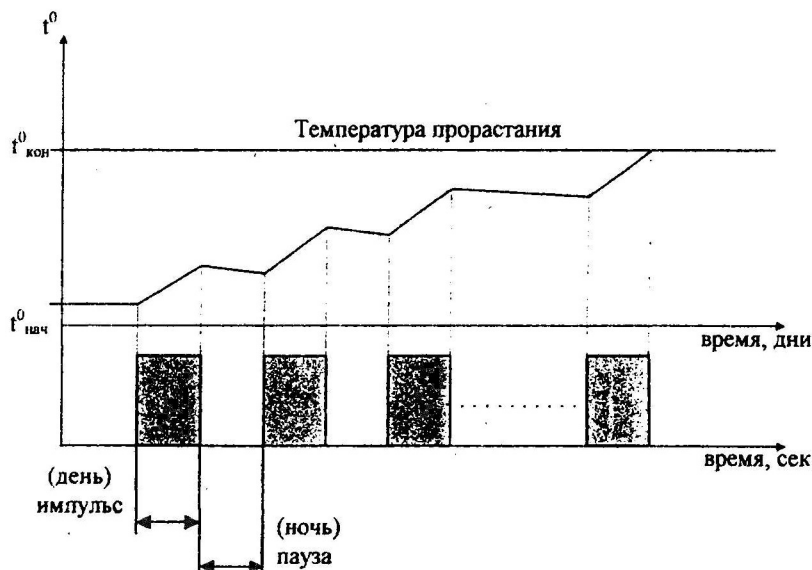


Рис. 3. Моделирование естественных условий прорастания

Полученная зависимость положена в основу программного управления посевными свойствами семян. Определены режимы обработки семян электромагнитным полем СВЧ высокой интенсивности, приведены результаты эксперимента, подтверждающие правильность выбранной методики. Информационная модель рассматривает реакцию биологической системы «Семена» на воздействие электромагнитного поля через взаимодействие двух электромагнитных полей внешнего и собственного поля биологической системы. Процессы, происходящие внутри системы, представляются через обмен информацией между подсистемами. На рис. 4 приведены результаты лабораторных исследований посевных свойств (энергии прорастания и всхожести) семян хвойных деревьев, а на рис. 5 - их полевые испытания, проводимые в течение 1995-2000 гг.

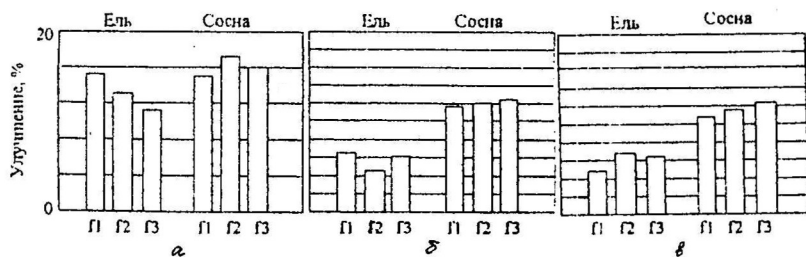


Рис. 4. Лабораторные исследования.  
а – энергия прорастания; б – всхожесть; в – длина проростка.

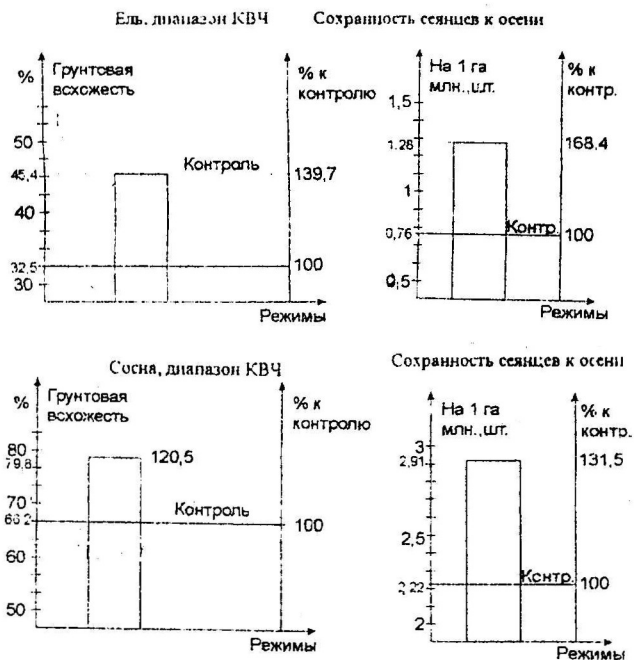


Рис. 5. Полевые испытания



Однако, разработанные методики и модели позволяют определить режимы обработки семян, ведущие к улучшению посевных свойств без учета затрат. Поэтому необходимо найти компромисс между качеством обработки (т.е. улучшением посевных свойств) и ее стоимостью. Поскольку стоимость разработки, создания и эксплуатации микроволновой установки являются монотонной функцией затрат электромагнитной энергии на единицу массы обработанных семян, а затраты на производство 1 Дж энергии в диапазонах СВЧ и КВЧ существенно различаются, то предполагается ввести критерий эффективности микроволновой обработки. Он формулируется следующим образом:

*Найти такие параметры режима микроволновой обработки  $V''_{ЭМП}$ , при которых удельные приведенные затраты электромагнитной энергии будут минимальными при условии допустимого снижения качества обработки  $\varepsilon_0$  по сравнению с наилучшим режимом обработки  $V'_{ЭМП}$ , найденным без учета стоимости процесса микроволновой обработки, т.е.*

$$\mathcal{E}_П \rightarrow \min, \quad (6)$$

$$V'$$

$$\text{при } \|W_{\text{вых}}(V''_{ЭМП}) - W_{\text{вых}}(V'_{ЭМП})\| < \varepsilon_0$$

На основании проведенных исследований определены режимы обработки, позволяющие снизить энергозатраты по сравнению с режимами, рекомендованными в Методических указаниях по обработке семян электромагнитными полями СВЧ, РАСХН в 2.17 раза.

В третьей главе рассмотрены методы, которые позволяют, исходя из режимов обработки семян, проектировать устройства управления формированием требуемого электромагнитного поля в рабочей камере микроволновой установки. Поскольку получить однородное электромагнитное поле невозможно, вводится понятие ожидаемого качества обработки  $Q_{\Sigma}$  с учетом неоднородности по-

ля во всем объеме рабочей камеры:

$$Q_{\Sigma} = \int_0^{\infty} m(\mathcal{E}) Q(\mathcal{E}) d\mathcal{E}, \quad (7)$$

где  $m(\mathcal{E})$  относительная мера объема обрабатываемых семян, в пределах которого энергия изменяется на  $\delta\mathcal{E}$ ,  $\mathcal{E} = \int_0^T |E(t)|^2 dt$ ,  $T$ - время обработки,  $E(t)$  - функция распределения поля. Используя понятие относительных мер, можно определять границы применимости различных режимов микроволновой обработки с учетом параметров воздействующего электромагнитного поля СВЧ или КВЧ. Введение критерия (7) позволяет осуществить постановку и решение важных практических задач:

1. Исходя из допустимого значения  $Q_{don}$  показателя суммарного качества  $Q_{\Sigma}$  ( $Q_{\Sigma} \geq Q_{don}$ ) определить требования к параметрам, характеризующим неоднородность электромагнитного поля в рабочей камере микроволновой установки.

2. Определить требуемое значение средней энергии электромагнитного поля, при котором качество обработки в данной рабочей камере микроволновой установки является наилучшим:

$$\bar{\mathcal{E}} : \{Q_{\Sigma}(\bar{\mathcal{E}}) \rightarrow \max \bar{\mathcal{E}}\} \quad (8)$$

3. Исходя из допустимого снижения показателя качества определить минимальное значение энергозатрат СВЧ и КВЧ, при которых среднее качество обработки для всей массы семян не хуже заданного.

$$\bar{\mathcal{E}}_{onm} : \{\bar{\mathcal{E}} \rightarrow \min; Q_{\Sigma}(\bar{\mathcal{E}}_{onm}) \geq Q_{don}\} \quad (9)$$

Для решения этих задач использовались полученные автором экспериментальные зависимости  $Q=Q(\mathcal{E})$  для диапазона СВЧ, рис. 6а, и  $Q=Q(|E|^2)$  для диапазона КВЧ, рис. 6б.

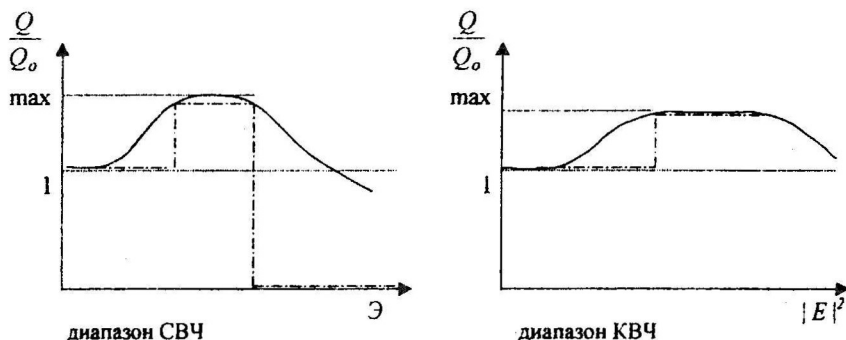


Рис. 6 Экспериментальные зависимости и их аппроксимации.  
( $Q_0$  – качество необработанных семян)

Проведя кусочно-линейную аппроксимацию и решая задачу о нахождении среднего значения этих функций выше или ниже заданного уровня, мы можем оценить: среднее качество обработки, предельные значения относительных мер  $m_i(\mathcal{E})$ ,  $m_j(|E|^2)$ , т.е. определить условия, при которых качество обработанных электромагнитным полем семян не будет улучшаться (либо ухудшаться) по сравнению с необработанными семенами. Для того, чтобы связать качество обработки с распределением электромагнитного поля в рабочей камере микроволновой установки используется вероятностный подход. Это необходимо, поскольку из-за разбросов электрофизических параметров семян, изменения их в процессе обработки, а также неоднородности распределения электромагнитного поля в рабочей камере микроволновой установки, функция  $\mathcal{E} = \mathcal{E}(|E|^2, \eta)$ , где  $\eta$  - обобщенная координата, будет иметь случайный характер.

Для практических оценок, связанных с использованием критерия (7) предложено случайную функцию  $\mathcal{E}(|E|^2, \eta)$  аппроксимировать кусочно-линейной функцией и решать задачу о выбросах случайной функции выше или ниже некоторого уровня. Тогда задача об оценке относительных мер сведется к определению времени пребывания среднего значения  $\mathcal{E}(|E|^2, \eta)$  выше  $\bar{\mathcal{E}} + \delta\mathcal{E}$  или ниже  $\bar{\mathcal{E}} - \delta\mathcal{E}$ . Таким образом можно связать желаемое качество обработки с распределением электромагнитного поля в рабочей камере, оценить вероятность либо перегрева, либо недогрева семян, что является существенным для диапазона СВЧ.

С использованием аналогичных представлений поставлена и решена задача о получении желаемого качества обработки в случае «перемешивания» семян в объеме рабочей камеры (для установок роторного типа), определены необходимые число и скорость перемешиваний. Введено понятие «коэффициент загрузки» рабочей камеры,  $\alpha = \frac{V_c}{V_0}$ , где  $V_c$  - объема, занимаемый семенами,  $V_0$  - объем рабочей камеры, при котором возможна реализация режима с желаемым качеством обработки.

Для реализации поставленных задач рассмотрены способы формирования электромагнитных полей в рабочих камерах микроволновых установок. Показано, что наиболее рационально использовать многоэлементное возбуждение, поскольку, варьируя расположением и законом возбуждения элементов, можно управлять пространственными характеристиками результирующего поля в рабочей камере. Для построения элементов устройств формирования требуемых электромагнитных полей предложены варианты излучателей. Для диапазона СВЧ: вибраторы, волноводный и рупорный излучатели, микрополосковые антенны. Для диапазона КВЧ: рупорный и волноводный излучатели. Для излучателей диапазона СВЧ проведен расчет электрической прочности. Выработаны рекомендации по выбору излучателей для микроволновых установок с различными конфигурациями рабочих камер. На основании полученных экспериментальных и теоретических результатов (главы 2 и 3) были выработаны требования к устройствам управления режимами обработки, разработаны и реализованы алгоритмы программного управления микроволновыми установками ШЫТЫМ, MSP, РОСТОК.

Описаны опытные образцы микроволновых установок ШЫТЫМ, MSP, РОСТОК.

В приложении приведены результаты лабораторных и полевых испытаний посевных свойств семян различных культур, обработанных в установках ШЫТЫМ, MSP, РОСТОК, акты внедрения результатов работы, протоколы испытаний.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработаны критерии эффективности режимов обработки семян электромагнитными полями, определены режимы обработки семян электромагнитными полями СВЧ и КВЧ различной интенсивности, обеспечивающих минимальные затраты энергии.

2. Разработаны методики оценки качества обработки семян с учетом неравномерности распределения электромагнитного поля в рабочих камерах микроволновых установок.

3. Реализована возможность определения эффективных режимов обработки семян, разработаны методики оценки требуемых параметров устройств управления микроволновыми установками и построения элементов устройств формирования требуемых электромагнитных полей.

4. Полученные результаты внедрены в разработку опытных установок для обработки семян электромагнитными полями различной интенсивности и их испытания.

#### СПИСОК РАБОТ

1. *Стахова Н.Е.* Микрополосковый излучатель элемент конформной антенной решетки.// Межвузовский сборник статей «Устройства, элементы и методы комплексной миниатюризации.» - Казань, КАИ, 1979.

2. *Радциг Ю.Ю., Стахова Н.Е.* Исследование диапазонных свойств печатных антенн // Тезисы докладов НТК КАИ, Казань, 1981.

3. *Акулышин И.П., Радциг Ю.Ю., Стахова Н. Е.* Исследование характеристик микрополосковых антенн.// Тезисы докладов I Всесоюзной НТК по интегральной электронике СВЧ, Новгород, 1982.

4. *Горбунова Р.Б., Стахова Н.Е.* Расчет электрической прочности слабонаправленных антенн.// Материалы докладов НТК КАИ, Казань, 1987.

5. *Стахова Н.Е.* Электрическая прочность плоскостных антенн // Материалы докладов НТК КАИ, Казань, 1987.

6. *Мингазов Ф.Ф., Морозов Г.А., Сабирзянова Д.С., Седельников Ю.Е., Стахова Н.Е., Хадеев Г.Г.* Воздействие микроволновых полей на зерновые культуры // Материалы докладов Всероссийской НТК «МВТ-95», Казань, 1995, с.13.

7. Ведерников Н.М., Морозов Г.А., Седельников Ю.Е., Стахова Н.Е., Улучшение посевных свойств семян хвойных пород облучением ЭМП СВЧ и КВЧ диапазонов // Материалы докладов Всероссийской НТК «МВТ-95», Казань, 1995, с.22.

8. Васильев И.И., Ведерников Н.М., Стахова Н.Е., Юнусов Р.А. СВЧ-обработка семян лесных и сельскохозяйственных культур // Материалы докладов юбилейной научно и НМК, посвященной 65-летию КГТУ, Казань, 1997.

9. Ведерников Н.М., Морозов Г.А., Стахова Н.Е. Микроволновая обработка семян хвойных деревьев // Материалы 9-ой Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Украина, Крым, Севастополь, 1999, с.420-421.

10. Морозов Г.А., Стахова Н.Е., Стахов Е.А. Измерения электрофизических параметров семян сельскохозяйственных культур в миллиметровом диапазоне волн // Тезисы докладов 6-ой Всероссийской НТК «Состояние и проблемы измерений». Москва, 1999, с.213.

---

Формат 60x80  $\frac{1}{16}$ . Бумага газетная. Печать офсетная.  
Печ. л. 1,0. Усл. печ. л. 0,93, Усл. кр.-отг. 0,93 Уч.-изд. л. 1,0.  
Тираж 100. Заказ А 185.

---

Типография Издательства  
Казанского государственного технического университета  
420111, Казань, ул. К. Маркса, 10



200